

Созданные стенды с интегральной плотностью потока тепловых нейтронов  $2,5 \cdot 10^5$  нейтр./( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ), промежуточных –  $4,0 \cdot 10^5$  нейтр./( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ), быстрых –  $3,8 \cdot 10^5$  нейтр./( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ) были использованы для исследования радиационной стойкости кремнийорганической жидкости ФМ-1. Изучение химического состава облученных образцов проводилось методами высокоэффективной жидкостной хроматографии и инфракрасной спектроскопии. Дополнительно проводилось определение изменений физико-химических свойств жидкости – вязкости и теплоемкости. Было показано, что исследуемые образцы кремнийорганической жидкости ФМ-1 под действием нейтронного потока сохраняют химический состав и физико-химические свойства без изменений при флюенсе быстрых нейтронов до  $3,1 \cdot 10^{12}$  нейтр/ $\text{см}^2$ .

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО МОЛИБДЕНА**

Пастухов В.И.<sup>\*</sup>, Аверин С.А., Панченко В.Л.

ОАО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Россия

<sup>\*</sup>E-mail: [vladimir.pastuhov1991@gmail.com](mailto:vladimir.pastuhov1991@gmail.com)

## **INFLUENCE OF HEAT TREATMENT AND HIGH TEMPERATURE NEUTRON IRRADIATION ON MICROSTRUCTURE OF TECHNICALLY PURE MOLYBDENUM**

Pastukhov V.I., Averin S.A., Panchenko V.L.

Institute of Nuclear Materials, Zarechnii, Russia

A comparative study of the effects of annealing and high temperature neutron irradiation on the microstructure of deformed technically pure molybdenum is presented. Annealing and irradiation leads to a decrease in dislocation density and the flow of recrystallization processes. Radiation-induced phase changes and the formation of radiation voids occur under irradiation. Detected void volume fraction after annealing is much lower. Thermal contribution to the void formation under neutron irradiation was estimated.

Жаропрочные свойства молибдена позволяют рассматривать его в качестве перспективного конструкционного материала космических ядерных энергетических установках. Механические свойства молибдена, как и у большинства металлов, определяются чистотой и микроструктурой [1]. Исследование влияния высокотемпературных отжигов и облучения на структуру поликристаллического молибдена позволит спрогнозировать изменение его свойств во время длительной эксплуатации в условиях реактора.

Исследовался молибден технически чистый (электродуговая плавка, горячая прокатка,  $\varepsilon \sim 65-70\%$ ) в деформированном состоянии, после отжигов и нейтронного облучения. Отжиги проводились при 1200 °С в течение 45, 150 и 300 минут. Высокотемпературное нейтронное облучение проводилось в исследовательском реакторе ИВВ-2М (г. Заречный) в интервале температур (1000 ÷ 1250) °С до флюенса нейтронов (с  $E > 0,1$  МэВ)  $5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ .

Проведены сравнительные исследования при помощи методик сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), рентгеноструктурного анализа (РСА) и измерения твердости. Исследование при помощи СЭМ, с применением методики дифракции обратно рассеянных электронов, позволяет подробно изучать зеренную структуру. Использование данной методики совместно с методикой просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ), рентгеноструктурным анализом (РСА) и измерением твердости дает более полную информацию о структурном состоянии материала и позволяет более точно оценить структурные изменения.

При проведении отжигов в деформированном молибдене протекают рекристаллизационные процессы [2]. После отжига с максимальной длительностью, в течение 300 минут, прошла не полная рекристаллизация. Облучение привело к полной рекристаллизации. По данным ПЭМ и РСА одновременно происходит снижение плотности дислокаций. При отжиге происходит уменьшение твердости с 275 HV до 180 HV, после облучения твердость составляет 190 HV.

Установлено, что под облучением происходят радиационно-индуцированные фазовые изменения. Зарегистрировано образование радиационных пор [3], объемная доля которых составляет 1,2 %. После отжигов так же обнаружены поры, объемная доля которых увеличивается с увеличением времени выдержки (при выдержке 45 минут  $\sim 0,02\%$ , 300 минут  $\sim 0,1\%$ ).

Произведена оценка термического вклада в порообразование при нейтронном облучении технически чистого молибдена и влияния структурных изменений на механические свойства по результатам измерения микротвердости.

1. Моргунова Н.Н., Сплавы молибдена, Металлургия (1975)
2. S. Primig., H. Leitner, H. Clemens, A. Lorich, W. Knabl, R. Stickler, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 28, 703-708, (2010)
3. J.L. Brimhall E.P. Simonen, H.E. Kissinger, Journal of Nuclear Material, 48, 339-350 (1973)